

INFLUÊNCIA DA MICROESTRUTURA NAS PROPRIEDADES DA FOLHA FINA AA8011¹

Francisco de Paula Pinheiro²
Ivan Meneguêço³

Resumo

Avaliação da influência da microestrutura sobre o desempenho de laminação e as propriedades finais da folha fina AA8011. Vazamento contínuo de chapas em bobinas, as quais foram inicialmente laminadas e homogeneizadas segundo dois tratamentos diferentes (especial e comum). O processamento subsequente das bobinas foi o mesmo até a espessura final. Amostras nos estados bruto de fundição, homogeneizadas e laminadas a frio tiveram sua microestrutura caracterizada por microscopia óptica. Após o tratamento térmico de homogeneização, observou-se uma significativa diferença na microestrutura das chapas. Na bobina que sofreu homogeneização especial observou-se que os constituintes que compunham a microestrutura bruta de fundição lamelar-eutética fragmentaram-se, assumindo forma esferoidizada, o que implicou em melhor desempenho de laminação, com menos rupturas e maior controle de espessura, além de uma quantidade de poros mais baixa e melhores propriedades mecânicas na folha 6,35 μm após recozimento final.

Palavras-chave: Folha fina; Microestrutura; Laminação.

INFLUENCE OF MICROSTRUCTURE ON PROPERTIES OF AA8011 THIN FOIL

Abstract

Evaluation of microstructure on final properties of AA8011 thin foil and its rolling performance. Strip cast coils were produced by Twin Roll Casting, cold rolled and then homogenized by two different treatments (special and standard). The downstream process was the same for all coils until the final thickness. Microstructure of samples in the as-cast state, homogenized and cold-rolled were characterized by optical microscopy. After homogenizing treatment, a significant difference on microstructure was observed. In the coil that underwent special treatment the constituents were broken up and got a spheroidized form that caused a better rolling performance with less breaks and thickness deviation, as well as lower quantity of pinholes and better mechanical properties on 6,35 μm foil after final annealing.

Key words: Thin foil; Microstructure; Rolling.

¹ Contribuição técnica ao 47º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 26 a 29 de outubro de 2010, Belo Horizonte, MG.

² Mestrando em Metalurgia e Engenheiro Metalurgista pela EPUSP – Votorantim Metais-CBA.

³ Técnico em Metalurgia pelo SENAI – Votorantim Metais-CBA.

1 INTRODUÇÃO

O vazamento contínuo utilizando-se *twin-roll casters* tem sido utilizado há mais de 50 anos na produção de chapas de alumínio em bobinas para laminação a frio. Este processo, em comparação ao processo convencional *Direct Chill* (DC), apresenta algumas vantagens como baixo custo de equipamento, economia de espaço, menores custos de produção, economia de energia etc.^(1,2)

O processo *Twin Roll Casting* (TRC) é o único que combina solidificação e laminação a quente numa única etapa.⁽³⁾ O metal líquido é alimentado através de um injetor cerâmico para entre os cilindros de um laminador duo. Os cilindros são compostos por duas partes: uma alma, que contém canais por onde circula água de refrigeração, e uma camisa, montada sobre a alma, que é a parte que entra em contato com o alumínio líquido (Figura 1).

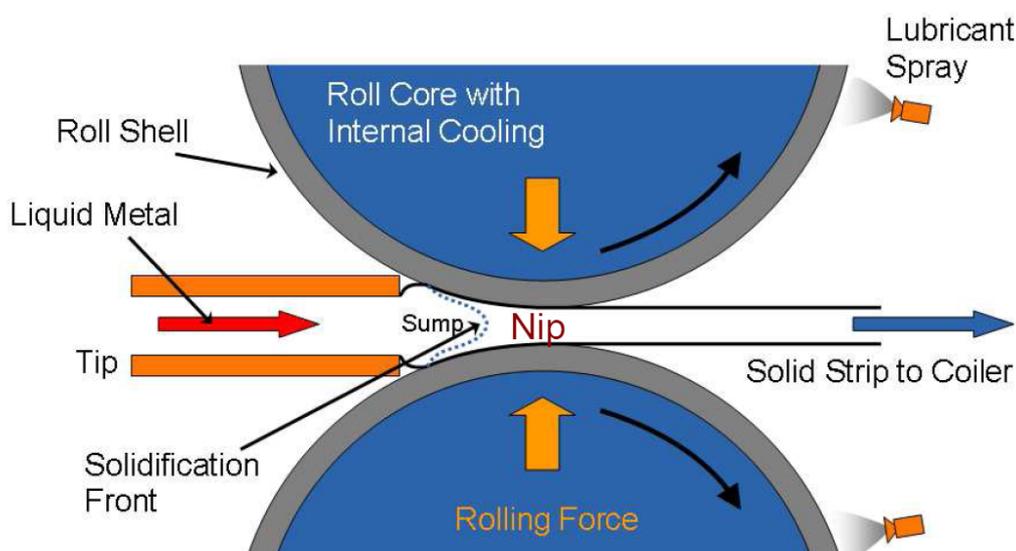


Figura 1. Representação esquemática do processo *Twin Roll Casting*.

Em contrapartida às vantagens econômicas supracitadas, há também algumas desvantagens, dentre as quais, destacam-se a baixa produtividade e a intensa macro-segregação, observada normalmente em ligas mais carregadas. Este tipo de segregação, também conhecida como linha central de segregação, apresenta-se sob a forma de um cordão localizado a meia-espessura da chapa e é diretamente proporcional à velocidade de vazamento.⁽⁴⁾ Seu mecanismo de formação está associado à ação de cisalhamento dos cilindros sobre as primeiras dendritas formadas durante a solidificação, espirrando líquido em direção ao centro da chapa, o qual se enriquece em soluto, e então solidifica.⁽⁵⁾

Chapas AA8011 – liga amplamente utilizada na produção de folhas finas para embalagens flexíveis – quando fundidas pelo processo TRC, normalmente apresentam esta linha de segregação sendo formada por fases β AlFeSi⁽⁶⁾ eutéticas com morfologia lamelar, como mostrado na Figura 2 em dois aumentos diferentes. Estas partículas intermetálicas são muito mais duras do que a matriz⁽⁷⁾ e, se não forem submetidas a um processamento termo-mecânico adequado, podem impactar negativamente nas propriedades finais da folha, como a porosidade – requisito essencial para folha fina que será utilizada como barreira contra luz, umidade e ar.

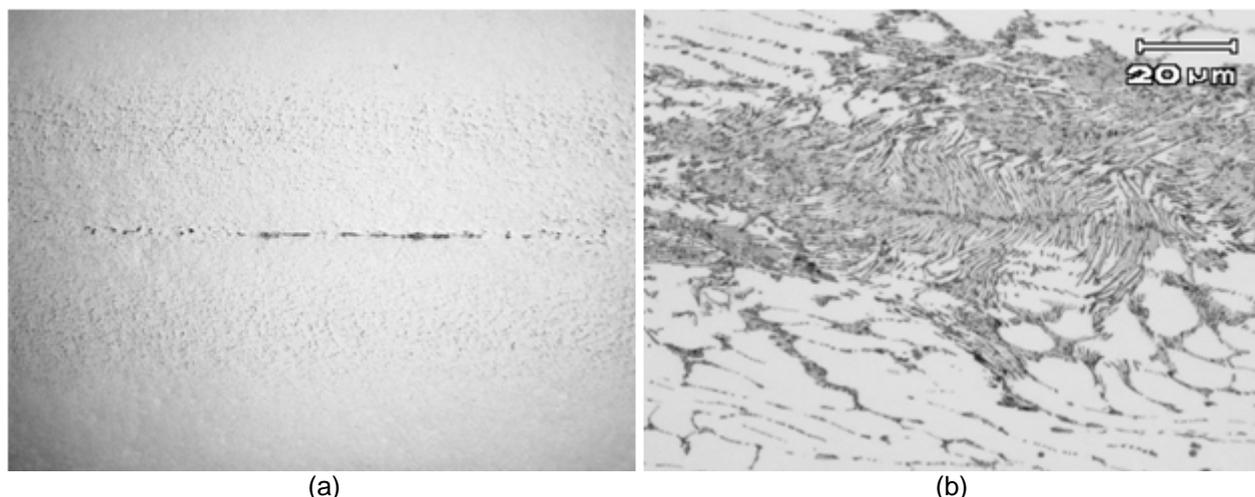


Figura 2. Microestrutura na direção longitudinal de chapa caster AA8011 bruta de fundição: imagem de toda a espessura da chapa com 37,5x de aumento (a) e imagem da linha central de segregação com 500x de aumento (b).

O objetivo deste trabalho é demonstrar a importância de um tratamento termo-mecânico adequado sobre a microestrutura e, conseqüentemente, sobre as propriedades finais da folha fina AA8011, produzida a partir de bobina obtida pelo processo TRC.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foram avaliadas 6 bobinas AA8011 produzidas em Caster Jumbo 3CM⁽³⁾ com 7 mm de espessura, 1.800 mm de largura e 1.900 mm de diâmetro externo, todas com os mesmos parâmetros de vazamento. A única diferença no processamento termo-mecânico subsequente das bobinas foi o tratamento de homogeneização. Enquanto metade das bobinas foram tratadas a 60°C abaixo da temperatura *liquidus* (homogeneização especial), na outra metade a temperatura não superou 500°C (homogeneização comum).

Amostras de todas as bobinas foram retiradas em três condições diferentes:

- espessura 7,0 mm: estado bruto de fundição;
- espessura 0,28 mm: após processamento termo-mecânico inicial que envolveu as etapas de homogeneização, laminação a frio (desbaste) e recozimento; e
- espessura 6,35 μm: após laminação a frio (acabamento) e recozimento final.

A composição química seguiu a especificação dada pela norma NBR ISO 209:2010,⁽⁸⁾ apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Composição Química da liga AA8011 (% em massa)

Liga	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ti
AA8011	0,50-0,90	0,60-1,00	0,10	0,20	0,05	0,05	0,08

As propriedades mecânicas foram avaliadas através de ensaio de tração, seguindo-se os parâmetros de ensaio determinados pela norma ASTM E345-93.⁽⁹⁾

Os corpos de prova para análise de microestrutura foram cortados, embutidos e lixados com lixa de 220, 400 e 800, com posterior polimento e limpeza em ultra-som. Após isso, as amostras foram atacadas com solução aquosa contendo 0,5% de ácido fluorídrico.

Todas as imagens foram obtidas na direção longitudinal ao sentido de laminação, conforme mostrado na Figura 3.

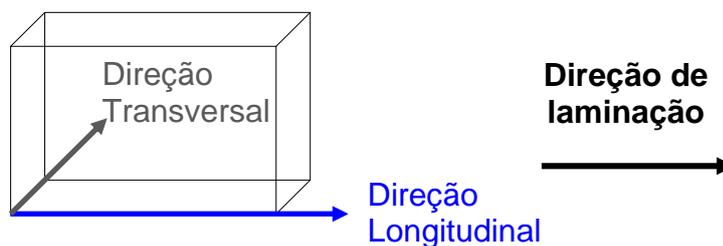


Figura 3. Definição das direções utilizadas para a análise metalográfica.

As micrografias foram obtidas com um microscópio óptico Olympus BX51M e uma câmera digital Olympus DP12.

O ensaio para determinação da porosidade foi realizado conforme a norma DIN EN 546-4.⁽¹⁰⁾

As análises estatísticas dos dados foram realizadas através do software Minitab® 15. Em todas elas adotou-se um nível de significância (α) igual a 5%.

3 RESULTADOS

3.1 Microestrutura

Após vazamento das bobinas, todas apresentaram a mesma condição microestrutural: segregação central composta por fases lamelares-eutéticas e com intensidade de segregação equivalente à representada na Figura 2.

Na Figura 4, está representada a diferença microestrutural, observada após processamento termo-mecânico inicial, entre as bobinas que sofreram homogeneização comum e as homogeneizadas especial.

A Figura 5 representa o mesmo que a Figura 4, porém após passe final de laminação, ou seja, com 6,35 μm de espessura.

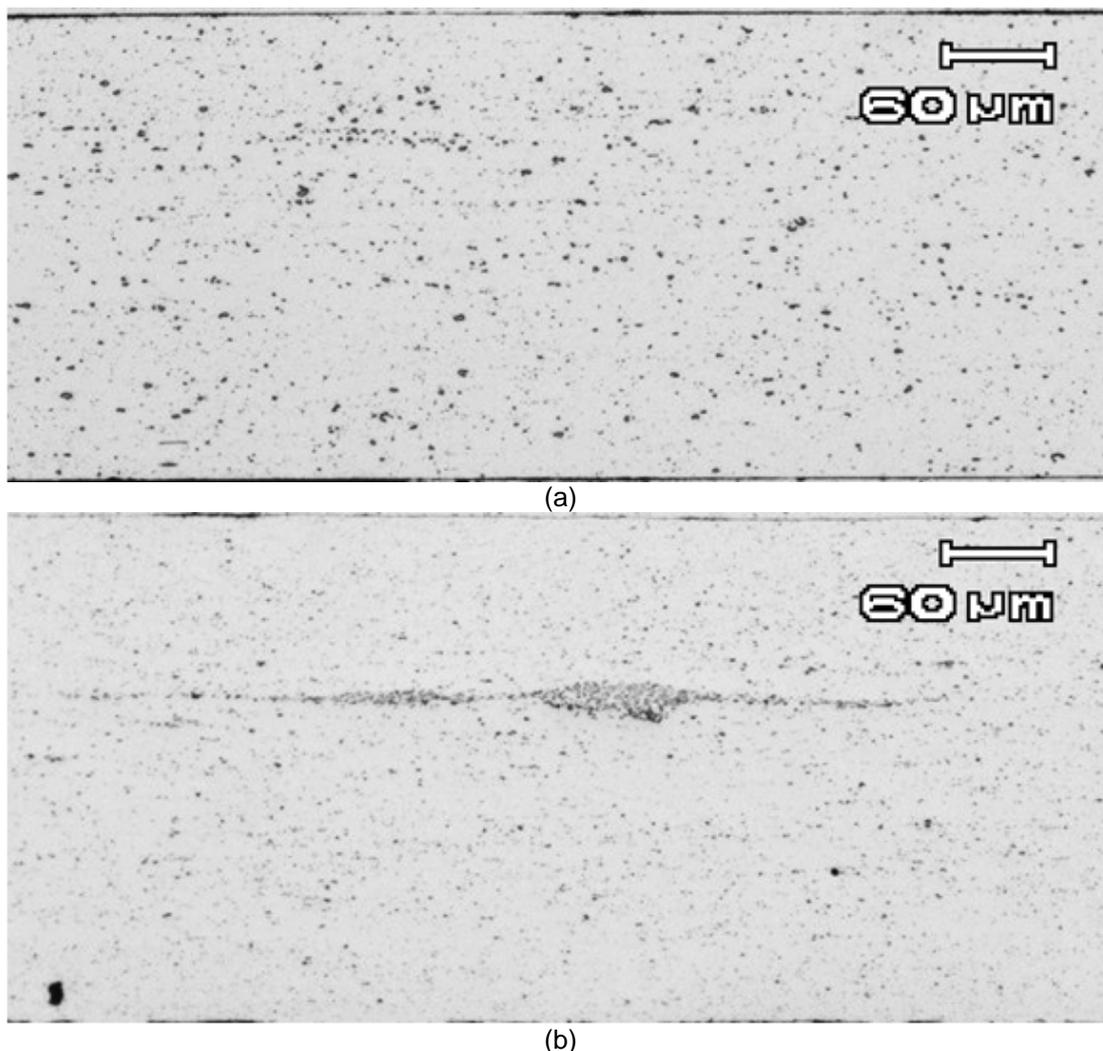


Figura 4. Microestrutura da chapa após processamento termo-mecânico inicial: material homogeneizado especial (a) e homogeneizado comum (b) – 100x, 0,5% HF.

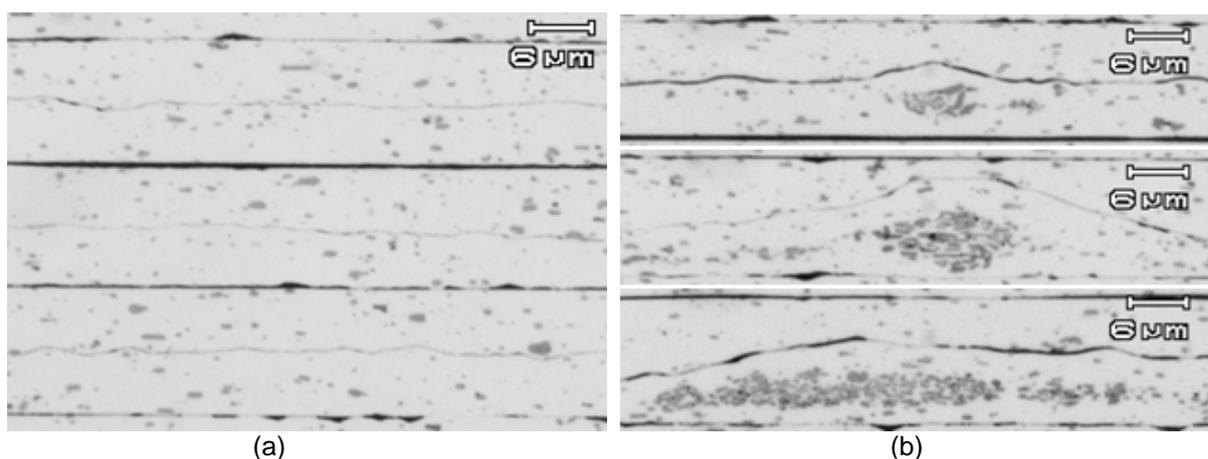


Figura 5. Microestrutura da folha 6,35 μm após passe final de laminação dupla: material referente ao processo com homogeneização especial (a) e homogeneização comum (b). – 1000x, 0,5% HF.

3.2 Desempenho de Laminação e Propriedades Finais

A Figura 6 mostra os resultados de propriedades mecânicas da folha 6,35 μm após recozimento final.

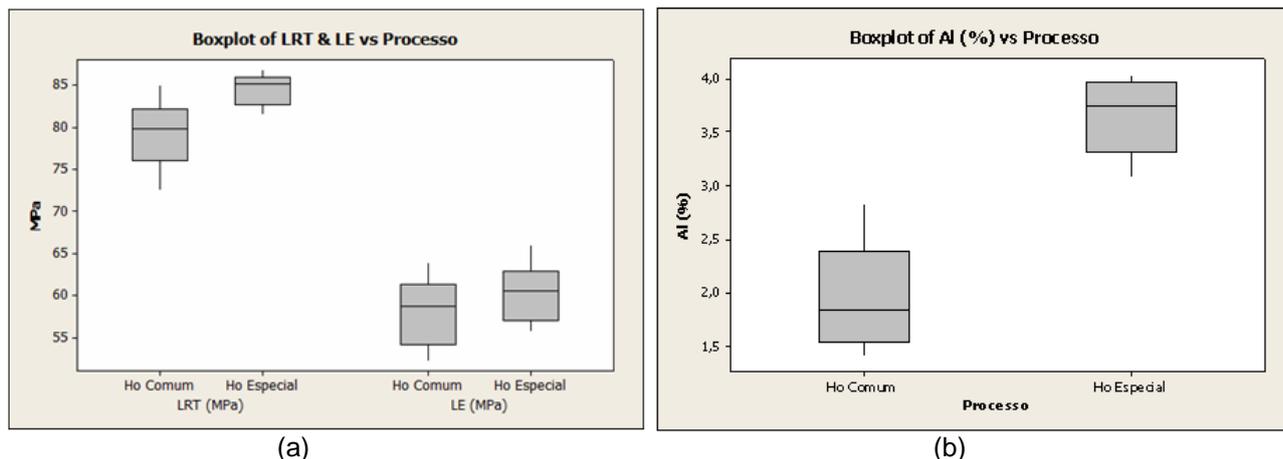


Figura 6. Resultados de propriedades mecânicas por processo: Limite de Resistência e Escoamento (a) e Alongamento (b).

A Figura 7 mostra a porosidade da folha acabada e, também, o desempenho de laminação no último passe, medido através do comprimento médio laminado entre rupturas.

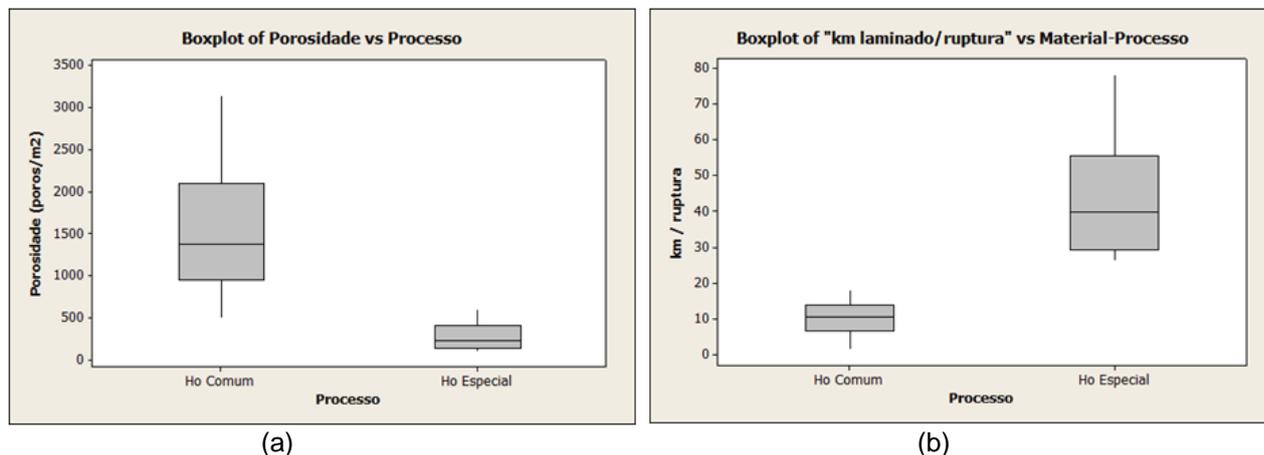


Figura 7. Resultados de porosidade (a) e desempenho de laminação em km laminado por ruptura (b).

Na Figura 8, utilizou-se um diagrama de dispersão e análise por regressão linear para representar a correlação da porosidade com o desempenho de laminação – este, considerado como sendo o comprimento médio laminado por ruptura, durante o passe final.

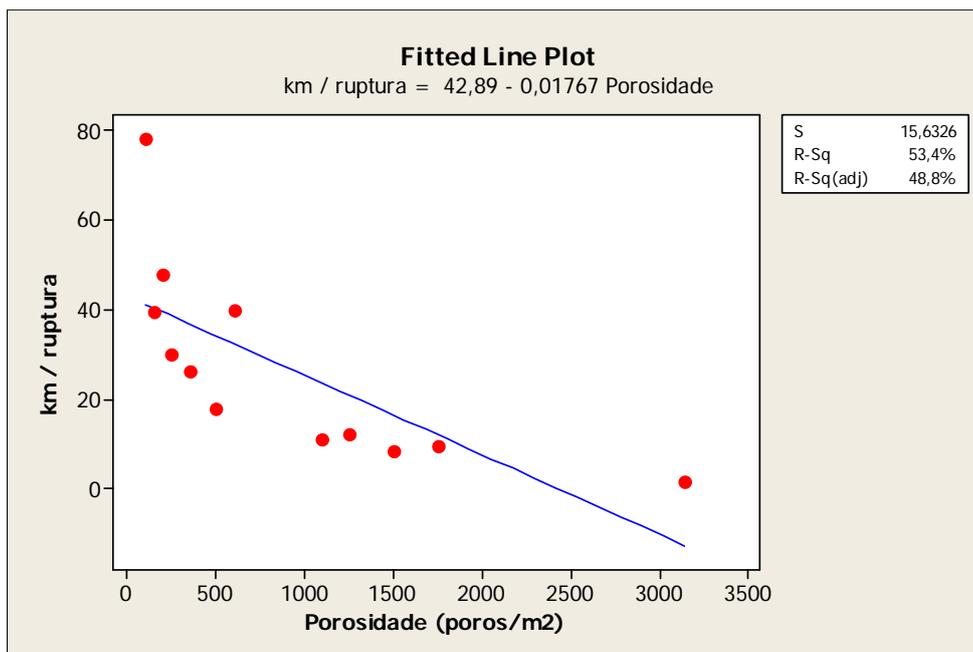


Figura 8. Avaliação da correlação entre porosidade e desempenho de laminação (km/ruptura).

A Tabela 2 representa os resultados das análises estatísticas dos dados cujas representações gráficas estão apresentadas nas Figuras 6, 7 e 8.

Tabela 2. Resultados das análises estatísticas de correlação entre as variáveis estudadas

Avaliação de Correlação	Análise Estatística	P-valor	R ²
LRT x Homogeneização	Teste Hipótese: 2 sample-t	0,019	—
LE x Homogeneização	Teste Hipótese: 2 sample-t	0,339	—
Alongamento x Homogeneização	Teste Hipótese: 2 sample-t	0,000	—
Porosidade x Homogeneização	Teste Hipótese: 2 sample-t	0,019	—
km/ruptura x Homogeneização	Teste Hipótese: 2 sample-t	0,005	—
km/ruptura x Porosidade	Regressão Linear	0,007	53,4%

Um exemplo de como a variação de espessura durante o passe final de laminação se comportou de maneira diferente, entre os materiais que sofreram homogeneização especial e comum, é mostrado na Figura 9. Nesta representação, utilizou-se gráficos de variação longitudinal de espessura e histograma de espessura referentes a duas bobinas, uma de cada condição de tratamento (comum e especial).

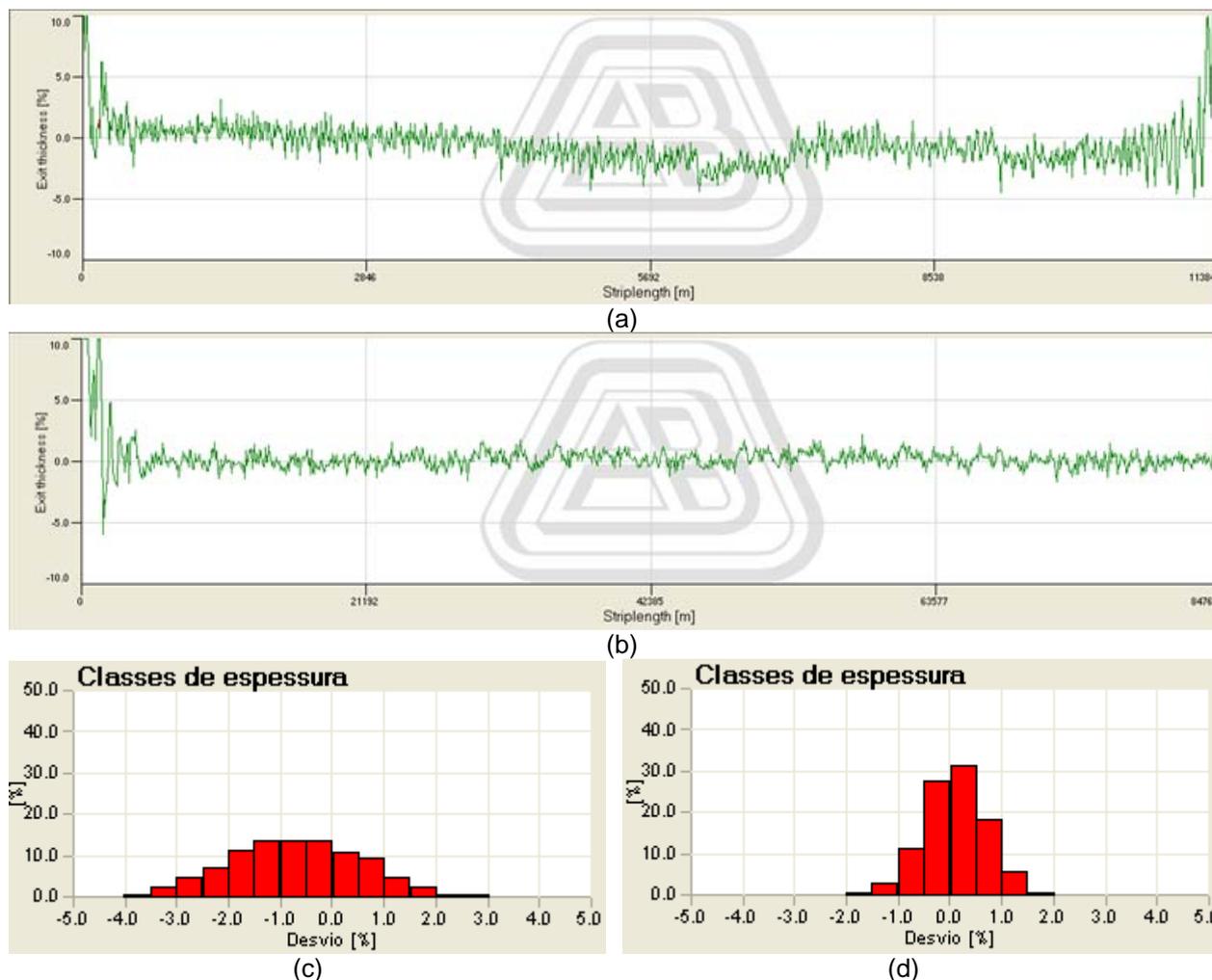


Figura 9. Variação de espessura durante passe final de laminação no material homogeneizado comum (a) e (c), e no material homogeneizado especial (b) e (d).

4 DISCUSSÃO

As micrografias mostraram que no material homogeneizado especial não se verificou resquícios da macro-segregação proveniente da condição bruta de fundição. Isto foi reflexo da plena dissolução, e posterior esferoidização, dos constituintes que compunham a estrutura lamelar-eutética da linha central de segregação, o que propiciou forte fragmentação dos intermetálicos durante o processo de laminação – ao contrário do que obtivemos com o material que sofreu o tratamento de homogeneização comum. As análises estatísticas dos dados obtidos no ensaio de tração mostraram que, com 95% de confiança, a homogeneização interfere no limite de resistência e alongamento da folha recozida, uma vez que os testes de hipótese indicaram p-valor inferior a 5%. A utilização da homogeneização especial elevou as principais propriedades mecânicas necessárias para se atingir boa maquinabilidade em folhas finas de alumínio destinadas à fabricação de embalagens flexíveis: LRT e alongamento.⁽¹¹⁾

Adicionalmente, ficou comprovado com 95% de confiança, que a homogeneização afeta a quantidade de poros/m² e o comprimento médio laminado entre rupturas – ambos os testes apresentaram p-valor < 0,05. Inclusive, a análise de regressão linear também comprovou a correlação entre essas duas variáveis, indicando que 53,4% da variação no indicador “km laminado / ruptura” é causada pela porosidade da folha.

A explicação para esse comportamento se deve ao fato da presença de *clusters* de intermetálicos na folha fina, que favorecem a geração de poros e furos na mesma⁽⁵⁾ e, conseqüentemente, diminuem sua resistência mecânica, elevando a quantidade de rupturas durante a laminação.

Com relação à variação de espessura durante o passe final de laminação, observou-se que esta é muito mais intensa no material homogeneizado comum, o que indica mais um impacto negativo da microestrutura heterogênea.

5 CONCLUSÃO

Para as condições microestruturais de chapa bruta de fundição estudadas, o tratamento térmico de homogeneização mostrou ser determinante para obtenção da folha 6,35 μm AA8011 com elevadas propriedades mecânicas, baixa porosidade, bom desempenho de laminação e variação de espessura controlada.

A falta de um tratamento mais forte implicou em baixa dissolução dos constituintes que compunham a microestrutura bruta de fundição lamelar-eutética, dificultando a fragmentação das fases macrosegregadas na solidificação. Isto implicou na presença de *clusters* de intermetálicos na folha acabada, os quais, por sua vez, proporcionaram um excesso de poros por metro quadrado.

A porosidade alta e a heterogeneidade microestrutural reduziram drasticamente as propriedades mecânicas da folha e, também, o controle sobre a variação de espessura durante o passe final de laminação.

Além disso, a quantidade de rupturas durante a laminação apresentou forte correlação com o nível de porosidade e, portanto, com a condição microestrutural da folha.

Agradecimentos

Agradecemos a Votorantim Metais – CBA, por permitir a publicação deste artigo.

Agradecimento a todos os colegas que colaboraram com amostras, informações e discussões, e que incentivaram a realização deste trabalho.

Finalmente, um agradecimento especial à equipe da Metalografia-CBA, pelo suporte incessante nas análises de microestrutura.

REFERÊNCIAS

- 1 YUN, M.; MONAGHAM, D. J.; YANG, X.; JANG, J.; EDMONDS, D.V.; HUNT, J.D., COOK, R.; THOMAS, P. M. An experimental investigation of the effects strip thickness, metallostic head and tip setback on the productivity of a twin-roll caster. *Cast Metals Research*. 4-2 (1991) p.108-111.
- 2 EDMONDS, D.V.; HUNT, J.D.; MONAGHAM, D. J.; YANG, X.; YUN, M.; An experimental study of twin-roll casting, in: *Proceedings of the Extraction Refining and Fabrication of Light Metals*, CIM, Ottawa, 1991, p. 257-271.
- 3 BASSON, F.; BOSCH, M.; CHARLIER, P. Mastering the strip geometrical tolerances with the twin-roll continuous strip-casting technology. *Light Metal*, 2008. p. 715-720.
- 4 JIN, I.; MORRIS, L. R.; HUNT, J. D. Centre Line Segregation in Twin Roll Cast. *Journal of Metals*, 1982, vol. 34, p. 70-75.
- 5 SANDERS JR, R. E.; HOLLINSHEAD, P. A.; SIMIELLI, E. A. Industrial Development of Non-Heat Treatable Aluminum Alloys. In: *Materials Forum*, 2004, vol. 28, p. 53-64.
- 6 SANGUINETTI FERREIRA, R. A., Caracterização Microestrutural da liga AA8011 no Estado Bruto de “Caster”. *Relatório Técnico – UFPE/Alcoa Alumínio S.A.*, 2000.
- 7 ZOLOTOROVSKY, V. S.; BELOV, N. A.; GLAZOFF, M. V. *Casting Aluminum Alloys*. 1^a ed. Oxford, Elsevier, 523p, 2007.

- 8 ABNT NBR ISO 209:2010. Alumínio e suas ligas – Composição química. 2010.
- 9 ASTM E345-93. Standard Test Methods of Tension Testing of Metallic Foil. 2008.
- 10 DIN EN 546-4. Aluminium and aluminium alloys – Foil – Part 4: Special property requirements. 2007.
- 11 KERTH, W.; AMANN, E.; RÄBER, X.; WEBER, H. Aluminium Foil Production. International Metallurgical Reviews, 1975, vol. 20, p. 185-207.